

**Requested document:****JP9307336 click here to view the pdf document**

## OPTICAL CONTROLLED PHASED ARRAY ANTENNA

Patent Number: JP9307336

Publication date: 1997-11-28

Inventor(s): KICHI TAKASHI; INAGAKI KEIZO; MIURA TATSU; KARASAWA YOSHIO

Applicant(s): ATR KODENPA TSUSHIN KENKYUSHO:KK

Requested Patent:  JP9307336

Application Number: JP19960118829 19960514

Priority Number(s):

IPC Classification: H01Q3/28; G02B6/293; G02B6/42; H01L31/0232

EC Classification:

Equivalents: JP2972142B2

---

### Abstract

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To simplify the alignment, to reduce the loss and to make the size small by modulating a high frequency signal, phase-distributing a radio signal, collecting light by a Fourier transform lens, converting a sampling beam light and emitting the light in a prescribed direction.

**SOLUTION:** High frequency signals S01 to N from high frequency oscillators 4-1 to N are modulated by base band signals B1 to N at modulators 5-1 to N and radio signals S1 to N are outputted to a phase locked optical radiator 1. A reference beam light is outputted to a radiation lens array 20 and the beam lights L1 to N are outputted to optical phase shifters 56-1 to N. Then the radio signals are phase-distributed in the radiation direction by a signal from a phase controller 55. Gaussian distribution beam lights GB1 to N from a lens array 20 are collected by a Fourier transform lens 8 and made incident onto a fiber array 12. The sampling light is photoelectric-converted and antenna elements 17-1 to M emit a multiplexed radio signal in a prescribed direction. Thus, the alignment is simplified, the loss is reduced and the size is made small.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

---

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-307336

(43)公開日 平成9年(1997)11月28日

(51)Int.Cl.  
H 01 Q 3/28  
G 02 B 6/293  
6/42  
H 01 L 31/0232

識別記号 庁内整理番号

F I  
H 01 Q 3/28  
G 02 B 6/42  
6/28  
H 01 L 31/02

技術表示箇所  
B  
C

審査請求 有 請求項の数4 O L (全18頁)

(21)出願番号 特願平8-118829

(22)出願日 平成8年(1996)5月14日

(71)出願人 000127662  
株式会社エイ・ティ・アール光電波通信研究所  
京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5  
番地  
(72)発明者 吉 宇  
京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5  
番地 株式会社エイ・ティ・アール光電波  
通信研究所内  
(74)代理人 弁理士 青山 葵 (外2名)

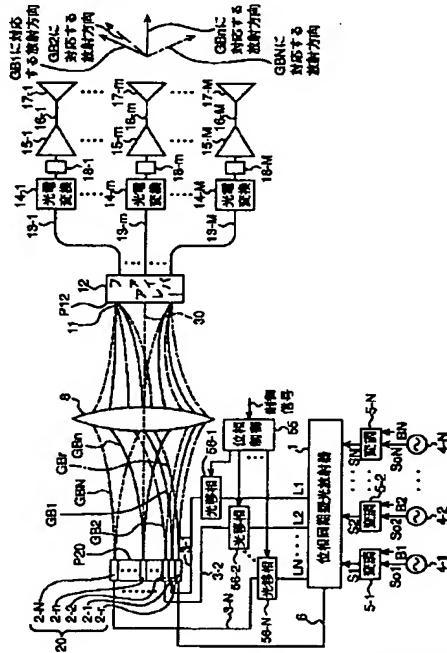
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光制御型フェーズドアレーランテナ

(57)【要約】

【課題】 複数の無線信号をそれぞれ所定の方向に放射することができ、アライメント調整が簡単でかつ損失が小さくしかも小型の光制御型フェーズドアレーランテナを提供する。

【解決手段】 第1の周波数の第1のビーム光と、第1の周波数から複数N個の第1の無線信号の周波数だけ異なる周波数の複数N個の第2のビーム光とを出力する光放射手段と、第1のビーム光と複数N個の第2のビーム光と第1のビーム光とを集光する集光手段と、集光ビーム光を空間的にサンプリングして、複数M個の第3のビーム光を出力するサンプリング手段と、複数M個の第3のビーム光を光電変換して、複数M個の第2の無線信号を出力する光電変換手段と、複数M個の第2の無線信号を空間に放射して、複数N個の第1の無線信号を所定の方向に放射する複数M個のアンテナ素子とを備えた。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の第1の周波数を有する第1のビーム光と、上記第1の周波数からそれぞれ入力される複数N個の第1の無線信号の各周波数だけ異なる周波数を有する複数N個の第2のビーム光とを出力する光放射手段と、

上記光放射手段から出力された上記第1のビーム光と上記複数N個の第2のビーム光とをそれぞれ所定のビーム幅に広げて放射する放射手段と、

上記放射手段から放射される上記複数N個の第2のビーム光と上記第1のビーム光とを所定のサンプリング面で重なるように集光する集光手段と、

上記集光手段によって集光された集光ビーム光を、上記サンプリング面において空間的にサンプリングして、サンプリングした複数M個の第3のビーム光を出力するサンプリング手段と、

上記サンプリング手段から出力される複数M個の第3のビーム光をそれぞれ光電変換して、光電変換した複数M個の第2の無線信号を出力する光電変換手段と、

上記光電変換手段から出力される複数M個の第2の無線信号をそれぞれ空間に放射することにより、上記複数N個の第1の無線信号をそれぞれ所定の方向に放射する複数M個のアンテナ素子とを備えたことを特徴とする光制御型フェーズドアーレーアンテナ。

【請求項2】 上記光制御型フェーズドアーレーアンテナはさらに、上記複数N個の第1の無線信号の放射方向が変化するように、上記複数N個の第2のビーム光を移相する複数の光移相手段を備えたことを特徴とする請求項1記載の光制御型フェーズドアーレーアンテナ。

【請求項3】 上記光制御型フェーズドアーレーアンテナはさらに、上記放射手段を移動させる移動手段を備えたことを特徴とする請求項1記載の光制御型フェーズドアーレーアンテナ。

【請求項4】 上記複数N個の第1の無線信号は、入力される信号に従って所定の変調方式で変調されていることを特徴とする請求項1、2又は3記載の光制御型フェーズドアーレーアンテナ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、複数の無線信号をそれぞれ所定の方向に放射する光制御型フェーズドアーレーアンテナに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 図16は、特開平03-044202号公報に開示された従来例の光制御型フェーズドアーレーアンテナのブロック図である。図16において、光放射器101は、光放射器101の内部に設けられたレーザダイオードから放射されるビーム光を2つの分岐光に分岐し、一方の分岐光をそのまま第1のビーム光103として出力し、他方の分岐光の周波数を発振器102から入

力される無線信号の周波数だけ偏移させてビーム幅dの第2のビーム光104として出力する。

【0003】 光放射器101から放射された第1のビーム光103は、ミラー105を介してイメージマスク106に入射され、イメージマスク106を透過する。イメージマスク106は、入射された第1のビーム光103を扇形ビームパターンなどの所望のアンテナ放射パターンのビーム形状に対応したビーム光107に変換して、フーリエ変換レンズ8に放射する。次いで、フーリエ変換レンズ8は、入射されたビーム光107を空間的にフーリエ変換して、変換後のビーム幅dのビーム光109をビーム合成器10に放射する。一方、光放射器101から放射された第2のビーム光104は分布調整器131に放射され、分布調整器131は、第2のビーム光104を所定のビーム幅に調整し、調整後の第2のビーム光を基準ビーム光132としてビーム合成器10に放射する。ビーム合成器10は、フーリエ変換レンズ8からのビーム光109と分布調整器131からの基準ビーム光132を混合して合成した後、ビーム幅dの合成光111をファイバレー12に放射する。

【0004】 ファイバレー12は、所定の間隔を置かれてサンプリング光ファイバの長手方向が平行になるよう、ある平面に並置された複数M本のサンプリング光ファイバからなり、このファイバレー12に入射される合成光111は、空間的にサンプリングされ各サンプリング光ファイバに入射される。各サンプリング光ファイバに入射された各ビーム光は、それぞれM本の光ファイバケーブル13-1乃至13-Mを介して、各光電変換器14-1乃至14-Mに入射される。光電変換器14-1乃至14-Mはそれぞれ、入射されたビーム光を上記第1のビーム光103と上記第2のビーム光104の差の周波数であって、入力されるビーム光の振幅に比例しつつその位相に一致した無線信号に光電変換した後、電力増幅器15-1乃至15-Mと給電線16-1乃至16-Mとを介して直線上又は平面上で並置されるアンテナ素子17-1乃至17-Mに出力する。これによつて、無線信号がアンテナ素子17-1乃至17-Mから上記イメージマスク6で設定される放射パターンで空間に放射されるというものである。

【0005】 しかしながら従来例の光制御型フェーズドアーレーアンテナは、(1)複数の無線信号をそれぞれ所定の方向に放射することができないという問題点があった。また、(2)ビーム合成器10を用いてビーム光109と基準ビーム光とを合成しているので、合成光のうち一部分は、図16に示すように、漏洩光112として放射されて、損失が大きいという問題点があった。さらに、(3)ビーム合成器10を用いて、ビーム光109と基準ビーム光とを合成しているので、ビーム光109の光軸と基準ビーム光132の光軸とを一致させるためのアライメント調整が難しいという問題点があった。ま

たさらに、(4) フーリエ変換レンズ8と分布調節器131とビーム合成器10とを用いて光学系を構成しているので、光学系が複雑になり光制御型フェーズドアレー アンテナを小型にできないという問題点があった。そこで、本発明者らは、先に特願平7-296722号公報において、上述した(1)の問題点を解決するために、従来例の光制御型フェーズドアレー アンテナのイメージマスク106に代えて、放射レンズアレーを設けることにより複数の無線信号をそれぞれ所定の方向に放射することができる光制御型フェーズドアレー アンテナを提案した。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、提案した光制御型フェーズドアレー アンテナは、従来例と同様、ビーム合成器10を用いて基準ビーム光と混合ビーム光とを合成しているので、損失が大きいという問題点と、アライメント調整が難しいという問題点とを依然として有していた。また、提案した光制御型フェーズドアレー アンテナは、従来例の分布調節器131に代えてレンズを用いているが、やはり光学系が複雑であり、小型にできないという問題点を有していた。

【0007】本発明の目的は、以上の問題点を解決して、複数の無線信号をそれぞれ所定の方向に放射することができ、アライメント調整が簡単かつ損失が小さくしかも小型の光制御型フェーズドアレー アンテナを提供することにある。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明に係る請求項1記載の光制御型フェーズドアレー アンテナは、所定の第1の周波数を有する第1のビーム光と、上記第1の周波数からそれぞれ入力される複数N個の第1の無線信号の各周波数だけ異なる周波数を有する複数N個の第2のビーム光とを出力する光放射手段と、上記光放射手段から出力された上記第1のビーム光と上記複数N個の第2のビーム光とをそれぞれ所定のビーム幅に広げて放射する放射手段と、上記放射手段から放射される上記複数N個の第2のビーム光と上記第1のビーム光とを所定のサンプリング面で重なるように集光する集光手段と、上記集光手段によって集光された集光ビーム光を、上記サンプリング面において空間的にサンプリングして、サンプリングした複数M個の第3のビーム光を出力するサンプリング手段と、上記サンプリング手段から出力される複数M個の第3のビーム光をそれぞれ光電変換して、光電変換した複数M個の第2の無線信号を出力する光電変換手段と、上記光電変換手段から出力される複数M個の第2の無線信号をそれぞれ空間に放射することにより、上記複数N個の第1の無線信号をそれぞれ所定の方向に放射する複数M個のアンテナ素子とを備えたことを特徴とする。

【0009】また、請求項2記載の光制御型フェーズド

アレー アンテナは、請求項1記載の光制御型フェーズドアレー アンテナにおいてさらに、上記複数N個の第1の無線信号の放射方向が変化するよう、上記複数N個の第2のビーム光を移相する複数の光移相手段を備えたことを特徴とする。

【0010】さらに、請求項3記載の光制御型フェーズドアレー アンテナは、請求項1記載の光制御型フェーズドアレー アンテナにおいてさらに、上記放射手段を移動させる移動手段を備えたことを特徴とする。

【0011】さらにまた、請求項4記載の光制御型フェーズドアレー アンテナは、請求項1、2又は3記載の光制御型フェーズドアレー アンテナにおいて、上記複数N個の第1の無線信号は、入力される信号に従って所定の変調方式で変調されていることを特徴とする。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明に係る実施の形態について説明する。

<第1の実施形態> 図1は、本発明に係る第1の実施形態の光制御型フェーズドアレー アンテナの構成を示すブロック図である。当該第1の実施形態の光制御型フェーズドアレー アンテナは、図16の従来例の光制御型フェーズドアレー アンテナから光放射器101と高周波発振器102とミラー105とイメージマスク106と分布調整器131とビーム合成器10とを取り除いて、位相同期型光放射器1と高周波発振器4-1乃至4-Nと変調器5-1乃至5-Nと光移相器56-1乃至56-Nと位相制御器55と光ファイバケーブル3-1乃至3-Nと放射レンズアレー20とを備え、複数N個の無線信号S1乃至SNを所定の方向に放射する。

【0013】以下、図1を参照して第1の実施形態の光制御型フェーズドアレー アンテナの構成を説明する。図1において、高周波発振器4-1乃至4-Nはそれぞれ予め決められた互いに異なる所定の各周波数を有する高周波信号S01乃至S0Nを発生して、それぞれ変調器5-1乃至5-Nに出力する。ここで、高周波信号S01乃至S0Nの各周波数は、好ましくは所定の周波数間隔で設定する。変調器5-1乃至5-Nはそれぞれ、入力される高周波信号S01乃至S0Nの周波数を、例えばPSK、QAMなどの所定の変調方式で入力されるベースバンド信号B1乃至BNに従って変調し、それぞれ周波数f<sub>m1</sub>乃至f<sub>mN</sub>を有する変調後の無線信号S1乃至SNをそれぞれ位相同期型光放射器1に出力する。ここで、ベースバンド信号B1乃至BNは互いに異なる。位相同期型光放射器1は、詳細後述するように所定の周波数f<sub>0</sub>を有する参照ビーム光を光ファイバケーブル6を介して放射レンズアレーに出力する一方、参照ビーム光の周波数f<sub>0</sub>からそれぞれ入力される複数N個の無線信号S1乃至SNの各周波数だけ異なる複数N個のビーム光L1乃至LNをそれぞれ光移相器56-1乃至56-Nに出力する。

【0014】そして、各光移相器56-1乃至56-Nはそれぞれ、位相制御装置55からの制御移相量信号に基づいて、入力されたビーム光L1乃至LNをそれぞれ、ビーム光L1乃至LNの各等位相面（光軸に対して垂直な面）に対してアンテナ素子17-1乃至17-Mから放射される各無線信号S1乃至SNの放射方向が変化するように位相の傾斜（位相分布）をつけて移相させた後、光ファイバケーブル3-1乃至3-Nを介して放射レンズアレー20に出力する。ここで、位相制御装置55に入力される制御信号はアーチアンテナから放射される複数N個の無線信号S1乃至SNの放射ビームの各放射方向を示す信号であって、位相制御装置55は入力される制御信号に基づいて、無線信号S1乃至SNの放射ビームの各放射方向に対応した移相量分布を示す制御移相量信号を各光移相器56-1乃至56-Nに出力する。ここで、光ファイバケーブル3-1乃至3-Nの各長さは、各光移相器56-1乃至56-Nの各制御移相量が0の場合に、各ビーム光L1乃至LNを放射レンズアレー20に伝送するように互いに同一に設定され、これにより、位相同期型光放射器1から出力される各ビーム光L1乃至LNの位相同期型光放射器1から放射レンズアレー20までの間のビーム光の各遅延量は同一に設定される。

【0015】放射レンズアレー20は、図3に示すように、複数（N+1）個の勾配屈折率レンズ（以下、本明細書においてはGRINレンズと称する）2-1乃至2-N, 2-rが後述するフーリエ変換レンズ8の光軸30に対して垂直な1次元方向に配列されてなる。そして、GRINレンズ2-1乃至2-Nはそれぞれ、入力されるビーム光L1乃至LNを、後述する入力面P12においてビーム径が $\omega_1$ になるように所定のビーム幅に広げて、ガウス分布ビーム光GB1乃至GBNとして、ガウス分布ビーム光GB1乃至GBNの各軸が互いに平行になるようにフーリエ変換レンズ8に放射する。また、GRINレンズ2-rは、入力される基準ビーム光を入力面P12においてビーム径が $\omega_1$ になるように所定のビーム幅に広げて、ガウス分布ビーム光GBrとして、当該ビーム光GBrの軸がガウス分布ビーム光GB1乃至GBNの各軸と平行になるようにフーリエ変換レンズ8に放射する。ここで、放射レンズアレー20はGRINレンズ2-1乃至2-N, 2-rの各出力面がフーリエ変換レンズ8の一方の焦点面P20に一致するように、かつ放射レンズアレー20の中央に設けられたGRINレンズ2-nの光軸が光軸30と一致するようにならねばならない。また、GRINレンズ2-1乃至2-N, 2-rは、屈折率が半径方向に連続的に変化するような分布を有する円柱形のレンズであって、その円形の出力面の直径は放射するガウス分布ビームのビームウエスト径 $\omega_0$ である。光ファイバケーブル3-1乃至3-N, 3-rはそれぞれ、コア3a-1乃至3a-N, 3a-rの軸

a-rとクラッディング3b-1乃至3b-N, 3b-rからなり、コア3a-1乃至3a-N, 3a-rの軸がGRINレンズ2-1乃至2-N, 2-rの各光軸に一致するように接続される。

【0016】フーリエ変換レンズ8は、放射レンズアレー20から放射された複数（N+1）個のガウス分布ビーム光GB1乃至GBN, GB<sub>r</sub>を、フーリエ変換レンズ8の他方の焦点面で重ね合わせるように集光させて、ガウス分布ビーム光GB1乃至GBN, GB<sub>r</sub>が集光されて合成された合成ビーム光11をファイバアレー12に入射する。これによって、ガウス分布ビーム光GB1乃至GBNは空間的にフーリエ変換されて、ガウス分布ビーム光GB1乃至GBNの各放射位置に対応する位相傾斜を有するフーリエ変換ビーム光に変換される。従って、合成ビーム光11は、複数N個のフーリエ変換ビーム光と参照ビーム光とからなる。なお、フーリエ変換レンズについては、例えば、従来技術文献「大越孝敬著「光エレクトロニクス」電子情報通信学会編、電子情報通信学会大学シリーズ、F-10, 55頁-58頁、昭和57年8月15日発行」に開示されている。

【0017】ファイバアレー12は、複数M本のサンプリング光ファイバ12-1乃至12-Mからなり、ファイバアレー12の入力面P12がフーリエ変換レンズ8の他方の焦点面に位置するように設けられる。サンプリング光ファイバ12-1乃至12-Mは、図4に示すように、サンプリング光ファイバ12-1乃至12-Mの各軸が互いに平行になるように、かつサンプリング光ファイバ12-1乃至12-Mの検出面がファイバアレー12の入力面P12に位置するように所定の間隔d<sub>i</sub>を隔てて直線上に並置されている。そして、ファイバアレー12は、その中央に位置するサンプリング光ファイバ12-mの軸が光軸30と一致するようにかつサンプリング光ファイバ12-1乃至12-Mの配列方向が放射レンズアレー20のGRINレンズ2-1乃至2-Nの配列方向と互いに平行となり一致するように設けられる。

【0018】これによって、ファイバアレー12は、各サンプリング光ファイバ12-1乃至12-Mの検出面によって、入射される合成ビーム光11をファイバアレー12の入力面P12において空間的にサンプリングして、サンプリングされた各サンプリングビーム光を、それぞれ光ファイバケーブル13-1乃至13-Mを介して、各光電変換器14-1乃至14-Mに出力する。ここで、サンプリングビーム光は空間的にサンプリングされた複数N個のフーリエ変換ビーム光と空間的にサンプリングされた参照ビーム光とからなる。

【0019】光電変換器14-1乃至14-Mはそれぞれ、入射される各サンプリングビーム光を、参照ビーム光の周波数f<sub>0</sub>から複数N個のフーリエ変換ビーム光の各周波数だけ異なる周波数をそれぞれ有し、各フーリエ

変換ビーム光の振幅に比例しあつその位相に一致した複数N個の無線信号からなる多重無線信号に光電変換した後、当該多重無線信号を、それぞれ帯域通過フィルタ18-1乃至18-M、電力増幅器15-1乃至15-M及び給電線16-1乃至16-Mとを介して直線上に並置されたアンテナ素子17-1乃至17-Mに出力する。ここで、帯域通過フィルタ18-1乃至18-Mはそれぞれ、周波数f<sub>m1</sub>乃至f<sub>mN</sub>を有する高周波信号を通過させるように構成され、電力増幅器15-1乃至15-Mはそれぞれ、周波数f<sub>m1</sub>乃至f<sub>mN</sub>を有する高周波信号を電力増幅するように構成されている。これによって、各多重無線信号がそれぞれアンテナ素子17-1乃至17-Mから放射されるので、複数N個の無線信号S<sub>1</sub>乃至S<sub>N</sub>の各放射ビームがそれぞれ、後述するように所定の放射方向で空間に放射される。

【0020】次に、位相同期型光放射器1の構成をそのブロック図である図2を用いて説明する。位相同期型光放射器1は、図2に示すように、レーザダイオード18-1乃至18-N、19と、光分配器21-1乃至21-N、22、23と、ビーム合成器33-1乃至33-Nと、光電変換器34-1乃至34-Nと、信号比較器35-1乃至35-Nとを備える。図2において、送信信号である無線信号S<sub>1</sub>乃至S<sub>N</sub>はそれぞれ信号比較器35-1乃至35-Nに入力される。位相同期型光放射器1において、各レーザダイオード18-k(k=1, 2, …, N、以下本明細書において特に断らない限りk=1, 2, …, Nを表すものとする。)は、所定の周波数を有するビーム光を発生して出力する。光分配器21-kは、例えばビームスプリッタ等からなり、レーザダイオード18-kから出力されるビーム光を2分配して、一方の分歧ビーム光をビーム光L<sub>k</sub>として位相同期型光放射器1に接続された光移相器56-kに出力し、他方の分歧ビーム光をビーム合成器33-kに出力する。

【0021】一方、レーザダイオード19は、所定の周波数f<sub>o</sub>を有する参照ビーム光を発生して出力する。光分配器22は、例えばビームスプリッタ等からなり、レーザダイオード19から出力される参照ビーム光を2分配して、一方の分歧参照ビーム光を参照ビーム光として光ファイバケーブル6を介してGRINレンズ2-rに出力し、他方の分歧参照ビーム光を光分配器23に出力する。光分配器23は、光分配器22から出力された他方の分歧参照ビーム光を複数N個に分配して、分配した分歧参照ビーム光をそれぞれビーム合成器33-1乃至33-Nに出力する。

【0022】ビーム合成器33-kは、光分配器23から入力された分歧参照ビーム光と光分配器21-kから入力された分歧ビーム光とを合成して、合成後の合成ビーム光を光電変換器34-kに出力する。光電変換器34-kは、入力された合成ビーム光を分歧ビーム光と分

岐参照ビーム光との差の周波数を有する無線信号に光電変換して信号比較器35-kに出力する。信号比較器35-kは、光電変換器34-kから入力される無線信号と、変調器5-kから入力される無線信号S<sub>k</sub>とを比較し、2つの信号の周波数差に比例した誤差電圧信号C<sub>k</sub>をレーザダイオード18-kに出力する。この誤差電圧信号C<sub>k</sub>に応答してレーザダイオード18-kの励起電流が変化し、これによりレーザダイオード18-kの発振周波数が変化する。

【0023】以上のように構成された位相制御型光放射器1においては、信号比較器35-kに入力される2つの無線信号の各周波数が一致するように、レーザダイオード18-kの発振周波数が制御される。従って、光分配器21-kから出力されるビーム光L<sub>k</sub>の周波数f<sub>o</sub>+f<sub>mk</sub>と、光分配器22から出力される参照ビーム光の周波数f<sub>o</sub>との差の周波数は、変調器5-kから出力される無線信号S<sub>k</sub>の周波数f<sub>mk</sub>に一致するように制御される。

【0024】次に、以上の様に構成された光制御型フェーズドアレーインテナの動作を説明する。図1において、高周波発振器4-1乃至4-Nによって発生された高周波信号S<sub>o1</sub>乃至S<sub>oN</sub>は、それぞれ変調器5-1乃至5-Nによってベースバンド信号B<sub>1</sub>乃至B<sub>N</sub>に従って変調されて、無線信号S<sub>1</sub>乃至S<sub>N</sub>として位相同期型光放射器1に出力される。そして、位相同期型光放射器1によって、所定の周波数f<sub>o</sub>を有する参照ビーム光が光ファイバケーブル6を介してGRINレンズ2-rに出力される一方、参照ビーム光の周波数f<sub>o</sub>からそれぞれ入力される複数N個の無線信号S<sub>1</sub>乃至S<sub>N</sub>の各周波数だけ異なる周波数(f<sub>o</sub>+f<sub>m1</sub>)乃至(f<sub>o</sub>+f<sub>mN</sub>)を有する複数N個のビーム光L<sub>1</sub>乃至L<sub>N</sub>がそれぞれ光移相器56-1乃至56-Nに出力される。

【0025】そして、ビーム光L<sub>1</sub>乃至L<sub>N</sub>はそれぞれ、光移相器56-1乃至56-Nによって所定の制御移相量だけ移相された後、光ファイバケーブル3-1乃至3-Nを介して放射レンズアレー20に入力され、GRINレンズ2-1乃至2-N、2-rによってそれぞれ、所定のビーム幅に広げられて、それぞれビーム光L<sub>1</sub>乃至L<sub>N</sub>に対応するガウス分布ビーム光G<sub>B1</sub>乃至G<sub>BN</sub>とガウス分布ビーム光G<sub>Br</sub>とがフーリエ変換レンズ8に放射される。

【0026】複数(N+1)個のガウス分布ビーム光G<sub>B1</sub>乃至G<sub>BN</sub>、G<sub>Br</sub>はそれぞれ、フーリエ変換レンズ8によってファイバアレー12の入力面P<sub>12</sub>に集光される。これによって、ガウス分布ビーム光G<sub>B1</sub>乃至G<sub>BN</sub>が空間的にフーリエ変換された複数N個のフーリエ変換ビーム光と参照ビーム光とが合成された合成ビーム光L<sub>1</sub>がファイバアレー12に放射される。

【0027】合成ビーム光L<sub>1</sub>はファイバアレー12の入力面P<sub>12</sub>において、各サンプリング光ファイバ12

-1乃至12-Mの検出面によって、空間的にサンプリングされて、サンプリングされた各サンプリングビーム光がそれぞれ光ファイバケーブル13-1乃至13-Mを介して、各光電変換器14-1乃至14-Mに出力される。

【0028】各サンプリングビーム光はそれぞれ、光電変換器14-1乃至14-Mによって、参照ビーム光の周波数f<sub>o</sub>から複数N個のフーリエ変換ビーム光の各周波数だけ異なる周波数をそれぞれ有し、各フーリエ変換ビーム光の振幅に比例しかつその位相に一致した複数N個の無線信号からなる多重無線信号に光電変換されて、それぞれ電力増幅器15-1乃至15-Mを介してアンテナ素子17-1乃至17-Mに出力される。これによつて、各多重無線信号がそれぞれアンテナ素子17-1乃至17-Mから放射されて、複数N個の無線信号S1乃至SNの各放射ビームがそれぞれ、後述する所定の放射方向でアレー・アンテナから空間に放射される。

【0029】次に、以上のように構成した第1の実施形態において、複数N個の無線信号S1乃至SNに対応して、アレー・アンテナから放射される各放射ビームの放射方向について説明する。図5は、放射レンズアレー20から放射されるガウス分布ビーム光GBkがフーリエ変換レンズ8によってファイバーアレー12の入力面P20に集光される様子を示す図である。図5では、簡単に示すために、中央に基準のガウス分布ビーム光GBrを放射するGRINレンズ2-rを設けた放射レンズアレー20aを用いて示し、3つのGRINレンズ2-1, 2-r, 2-Nから、ガウス分布ビーム光GB1, GBr, GBNを放射した場合について示している。各GRINレンズ2-1, 2-r, 2-Nはそれぞれ、GRINレンズ2-1, 2-r, 2-Nの各軸がフーリエ変換レンズ8の光軸に平行になるように設けられているので、GRINレンズ2-1, 2-r, 2-Nからそれぞれ放射されるガウス分布ビーム光GB1, GBr, GBNは、各ビームの各軸GA1, GAR, GANが互いに平行になるように放射されてフーリエ変換レンズ8に入射される。

【0030】従つて、フーリエ変換レンズ8に入射されたガウス分布ビーム光GB1, GBr, GBNは、フーリエ変換レンズ8の他方の焦点面である入力面P12において、ガウス分布ビーム光GB1, GBr, GBNの各軸が一致するように集光されて、入力面P12に干渉

$$\begin{aligned} E_T &= E_a + E_r \\ &= A_a \exp(j \cdot 2\pi \cdot f_o \cdot t) + A_r \exp(j \cdot 2\pi \cdot f_1 \cdot t + j \cdot k \cdot x \cdot \sin\theta) \end{aligned}$$

【数4】

$$\begin{aligned} I &= E_T \cdot E_T^* \\ &= \{A_a \exp(j \cdot 2\pi \cdot f_o \cdot t) + A_r \exp(j \cdot 2\pi \cdot f_1 \cdot t + j \cdot k \cdot x \cdot \sin\theta)\} \\ &\quad \times \{A_a \exp(-j \cdot 2\pi \cdot f_o \cdot t) + A_r \exp(-j \cdot 2\pi \cdot f_1 \cdot t - j \cdot k \cdot x \cdot \sin\theta)\} \end{aligned}$$

縞を形成する。ここで、ガウス分布ビーム光GB1, GBr, GBNはそれぞれ、入力面P12において、後述の数7で表されるω<sub>1</sub>のビーム径を有するので、干渉縞は入力面P12において光軸30を中心とする径がω<sub>1</sub>の集光部分に形成される。図5において、Gp1, Gpr及びGpNを付して示す直線はそれぞれ、入力面P12におけるガウス分布ビーム光GB1, GBr, GBNの位相傾斜を示す。この位相傾斜については、図6を用いて後述する。

【0031】次に、周波数f<sub>m</sub>を有する無線信号によって変調されたガウス分布ビーム光GBm(mは、1又はNである。)と基準のガウス分布ビーム光GBrとによって形成される干渉縞について説明する。ここで、ガウス分布ビーム光GBmは、光軸30からr<sub>0</sub>だけ離れた位置から放射されるものとし、ガウス分布ビーム光GBrは、光軸30上のGRINレンズ2-rから放射されるものとすると、ガウス分布ビーム光GBrとガウス分布ビーム光GBmとがそれぞれ入力面P12上の光軸30から距離xの位置に励起する電界ベクトルE<sub>r</sub>, E<sub>m</sub>は、次の数1、数2で表される。ここで、第1の実施形態の光制御型フェーズドアレー・アンテナにおいて、ビーム光を用いて無線信号を安定してかつ効率よく処理するためには、異なる入射角で入力面P12に入射する2つのビーム光は、同一の偏波面を持つように設定されるので、電界ベクトルE<sub>r</sub>, E<sub>m</sub>は、光軸30に対して垂直の同一方向を有する。

【0032】

$$【数1】 E_r = A_r \exp(j \cdot 2\pi \cdot f_o \cdot t)$$

$$【数2】 E_m = A_m \exp(j \cdot 2\pi \cdot f_1 \cdot t + j \cdot k \cdot x \cdot \sin\theta)$$

【0033】ここで、入射角θは、ガウス分布ビーム光GBmの入射方向と光軸30との間の角度であり、kは当該ビーム光GBmの波長λを用いてk = 2π/λで表される波長定数である。従つて、入力面P12における光軸30から距離xの位置での合計の電界ベクトルE<sub>T</sub>は、数1で表される電界ベクトルE<sub>r</sub>と数2で表される電界ベクトルE<sub>m</sub>との和として次の数3で表すことができ、当該位置における干渉縞の光の強度は、電界ベクトルE<sub>r</sub>と電界ベクトルE<sub>m</sub>の共役ベクトルE<sub>T</sub>\*を用いて次の数4で表すことができる。

【0034】

【数3】

$$= 2 A_a \cdot A_r + 2 A_a \cdot A_r \cos \{(2\pi \cdot f_m \cdot t + 2\pi \cdot r_o \cdot x) / (\lambda \cdot F)\}$$

【0035】ここで、 $f_1$ はガウス分布ビーム光G B mの周波数であり、 $r_o$ はガウス分布ビーム光G B mを放射するGRINレンズの軸から光軸30までの距離であり、 $f_o$ はガウス分布ビーム光G B rの周波数である。すなわち、無線信号の周波数 $f_m = f_1 - f_o$ の関係がある。また、 $\lambda$ は基準のガウス分布ビーム光G B rの波長であり、Fは、フーリエ変換レンズ8の焦点距離であり、波長入と焦点距離Fとはいずれも定数である。数4から明らかのように、強度Iは、無線信号の周波数 $f_m$ と等しい周波数で正弦波振動をする。従って、この混合された光の信号が光電変換器に入力されると、光電変換器から、 $A_a, A_r$ に比例する振幅と周波数 $f_m$ を有する無線信号を生成するためのビート信号が出力される。

【0036】ここで、一般的にGRINレンズから放射されるガウス分布ビーム光の断面における振幅は、ガウス分布をしていて、また理想的なレンズはビームサイズを変更するだけでビームモードは変化しないので、フーリエ変換レンズ8を介して伝搬するガウス分布ビーム光はそのままのガウスモードを保持していく。従って、入力面P12においても、ガウス分布ビーム光G B mとガウス分布ビーム光G B rとはガウス分布しているので、数1、数2の中の振幅 $A_a, A_r$ はそれぞれ、次の数5、数6で表すことができる。ここで、入力面P12における集光部分の径 $\omega_1$ は数7で表すことができる。

【0037】

$$【数5】 A_a = A_{a0} \exp(-x^2/\omega_1^2)$$

$$【数6】 A_r = A_{r0} \exp(-x^2/\omega_1^2)$$

$$【数7】 \omega_1 = \lambda F / (\pi \omega_0)$$

【0038】ここで、 $\omega_0$ はガウス分布ビーム光G B m, G B rのビームウエストであり、Fはフーリエ変換レンズ8の焦点距離である。ガウス分布ビーム光G B mを放射するGRINレンズの軸から光軸30までの距離 $r_o$ がフーリエ変換レンズ8の焦点距離Fよりはるかに短い場合は、 $\sin \theta = r_o / F \approx 0$ で表すことができる。従って、入力面P12における干渉光による光励振强度分布は、図5において、G i n, G i 1及びG i Nの符号を付して示すように位置xの関数として表される。詳細は、図11のグラフを用いて後述する。ここで、図5において、G i nの符号を付して示すパターンは変化しない固定されたガウス分布を示し、当該固定ガウス分布G i nの中にG i 1及びG i Nの符号を付して示す点線は、正弦波振動をする光励振强度分布を示している。

$$E_i(\theta)$$

$$M/2$$

$$= \sum_{m=-M/2}^{M/2} A_{a0} A_{r0} \exp(-2m^2 d_1^{-2}/\omega_1^2) \cdot \exp(j \cdot m \cdot k (d_s \cos \theta - d_1 \cdot r_o / F))$$

【0047】ここで、 $d_s$ は隣接するアーランテナ素子間の間隔である。すなわち、以上の原理を用いると、

【0039】第1の実施形態において、上述した正弦波振動をする光励振强度分布を、入力面P12において空間的にサンプリングしているので、サンプリング間隔は、正弦波振動をする光励振强度に対応する無線信号を検出するために、少なくとも1つのサンプリング光ファイバ12-mが、数4で表される干渉縞の隣接するヌルの間に位置するように設けることが好ましい。このために、我々は、隣接するサンプリング光ファイバ12-mの間隔 $d_1$ を、数8を満足するように設定した。従つて、形成することができるビームの最大数 $N_{ax}$ は、数9で表すことができる。

【0040】

$$【数8】 d_1 \cdot r_o / F \leq \lambda / 2$$

$$【数9】 N_{ax} = \lambda F / (d_1 \cdot d_1)$$

【0041】ここで、 $d_1$ は隣接するGRINレンズ間の間隔である。次に、片側の焦点面に於けるガウス分布ビーム光の空間的な放射位置が反対側の焦点面に於いて、距離xに対して線形の位相の変化をもたらす、という集束レンズに関する周知のシフト原理を用いると、ガウス分布ビーム光G B rと任意のガウス分布ビーム光G B mとが混合されて形成された干渉縞に対応して励起される入力面P12に於ける電界である光励振强度分布は、次の数10のように表すことができる。

【0042】

$$【数10】 E_0(x) = A_{a0} A_{r0} \exp(-2x^2/\omega_1^2) \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot x \cdot r_o / (\lambda \cdot F))$$

【0043】ここで、数10は数4から導くことでもでき、数10の虚数部は、2つのビーム光の間の周波数差に等しい周波数で時間とともに変化する干渉縞の瞬時値に関連する。また、混合ビームの約95%のエネルギーは、径 $\omega_1$ の集光部に集中しているので、サンプリング光ファイバ12-mの数M、すなわちアンテナ素子数Mは次の数11を用いて決定される。

【0044】

$$【数11】 M = 2\omega_1/d_1 = 2\lambda \cdot F / (\pi \cdot d_1 \cdot \omega_0)$$

【0045】ファイバアレー12によって検出された干渉縞の瞬間のパターンは、光電変換器14-1乃至14-Mによって、ガウス分布として時間平均されるので、アーランテナの遠視野放射パターンは次の数12で表すことができる。

【0046】

【数12】

ガウス分布ビーム光G B mを放射する位置の光軸30からの距離 $r_o$ に対応して数12で表されるビームを所定

の方向に形成することができる。

【0048】次に、以上の原理に基づいて、数値的に評価した結果を説明する。図6は、フーリエ変換レンズ8の一方の焦点面P20において、光軸からの距離 $r_0 = 0$ 、 $r_0 = 125\mu m$ 及び $r_0 = 250\mu m$ の位置からそれぞれ、ガウス分布ビーム光を放射したときの入力面P12における、各ガウス分布ビーム光の位相傾斜を示すグラフである。図6から明らかなように、光軸上( $r_0 = 0\mu m$ )でビーム光を放射した場合は、入力面P12上のどの位置においても位相は等しくなる。また、ビーム光の放射位置を光軸30から離すと(図6においては $r_0 = 125\mu m$ と $r_0 = 250\mu m$ の場合)入力面P12において光軸30からの距離xに対して位相は直線的に変化し、ビーム光の放射位置を光軸30から離す程、距離xに対する位相の傾きは大きくなることがわかる。

【0049】図11は、ガウス分布ビーム光GBrの放射位置を光軸30からの距離 $r_0 = 0\mu m$ に設定し、ガウス分布ビーム光GBmの放射位置を光軸30からの距離 $r_0 = 125\mu m$ 及び $r_0 = 250\mu m$ に設定した場合の干渉パターンを示すグラフである。図11のグラフは、数10を用いて計算し、距離 $r_0$ 以外の主要なパラメータは、ガウス分布ビームのビームウエスト径 $\omega_0 = 62.5\mu m$ 、フーリエ変換レンズ8の焦点距離 $F = 120mm$ 、ビーム光の波長 $\lambda_0 = 1.3\mu m$ に設定した。図11において、 $r_0 = 0\mu m$ を付して示している実線は、干渉パターンの包絡線で、ガウス分布として時間平均されたものを示している。また、 $r_0 = 125\mu m$ を付して示している点線は、光軸30からの距離 $r_0 = 125\mu m$ の位置から放射されたガウス分布ビーム光GBrとガウス分布ビーム光GBmとの時間的に変化する干渉パターンを示し、 $r_0 = 250\mu m$ を付して示している点線は、光軸30からの距離 $r_0 = 250\mu m$ の位置から放射されたガウス分布ビーム光GBrとガウス分布ビーム光GBmとの時間的に変化する干渉パターンを示す。図11のグラフから明らかなように、入力面P12において、ガウス分布ビーム光GBmの放射位置に対応した光励振強度を有する干渉パターンが得られることがわかる。

【0050】また、図12は、ガウス分布ビーム光の放射する位置を焦点面P20において変化させたときの、アレーアンテナから放射される放射ビームの放射角度に対する相対振幅を示すグラフである。図12のグラフは、数12を用いて、光軸30からの距離 $r_0 = 0\mu m$ 、 $r_0 = 125\mu m$ 及び $r_0 = 250\mu m$ の3つの異なる位置からガウス分布ビームGBmの放射した場合についてシミュレーションをして示している。当該シミュレーションでは、基準のガウス分布ビーム光GBrは、光軸30から離して放射したものとし、距離 $r_0$ 以外の主要なパラメータは、図12のシミュレーションと同様に設定した。

【0051】また、図13は、図12と同様、ガウス分布ビームの放射する位置を焦点面P20において変化させたときの、アレーアンテナから放射される放射ビームの放射角度に対する相対振幅を示すグラフである。図13のグラフは、数12を用いて、光軸30からの距離 $r_0 = 125\mu m$ 、 $r_0 = 250\mu m$ 及び $r_0 = 375\mu m$ の3つの異なる位置からガウス分布ビームの放射した場合についてシミュレーションをして示している。当該シミュレーションでは、基準ガウス分布ビーム光は、光軸30から放射したものとし、距離 $r_0$ 以外の主要なパラメータは、図12のシミュレーションと同様に設定した。図12に示す $r_0 = 125\mu m$ 及び $r_0 = 250\mu m$ に設定した場合のグラフと、図13に示す $r_0 = 125\mu m$ 及び $r_0 = 250\mu m$ に設定した場合のグラフとを比較することにより、基準ガウス分布ビーム光の放射位置に拘わらず、距離 $r_0$ のみに依存して所望の方向に放射ビームを形成することができる。

【0052】図14は、数9を用いて計算した結果を示すグラフである。すなわち、図14は、サンプリング光ファイバ12-mの間隔 $d_1$ に対する、形成することができるビームの最大数 $N_{max}$ を示している。また、図14では、フーリエ変換レンズ8の焦点距離 $F$ を20m、40mm及び60mmに設定した場合についてそれぞれ示している。図14から明らかなように、サンプリング光ファイバ12-mの間隔を狭く設定する程、形成することができるビームの最大数 $N_{max}$ を大きくできることがわかる。また、焦点距離 $F$ を長く設定するほど、形成することができるビームの最大数 $N_{max}$ を大きくできることがわかる。

【0053】以上、説明したように、無線信号に従って変調されたガウス分布ビーム光GBmと基準のガウス分布ビーム光GBrとが重ね合わされて形成された入力面

P12における干渉縞の強度Iを、空間的に異なる各位置で検出してそれぞれ光電変換することにより、ガウス分布ビーム光GB<sub>r</sub>の放射位置に対応した位相傾斜を有する複数の無線信号に変換することができる。従って、サンプリング位置に対応して設けられた各アンテナ素子から、対応する各無線信号を放射することにより、上記位相傾斜に対応する方向にビームを形成するように無線信号を放射することができる。

【0054】すなわち、光移相器56-1乃至56-Nにおける各制御移相量が0であるとすると、図1の光制御型フェーズドアーラー・アンテナにおいて、GRINレンズ2-kから放射されてフーリエ変換レンズ8に入射されるガウス分布ビームGB<sub>k</sub>は、フーリエ変換レンズ8によって1回フーリエ変換されて、入力面P12におけるガウス分布ビームGB<sub>k</sub>のフーリエ変換像（すなわち、フラウンホーファ回折像）となり、当該フーリエ変換像がファイバアレー12によって、空間的にサンプリングされる。その後、アンテナ素子17-1乃至17-Mからなるアーラー・アンテナから放射されることにより、当該アーラー・アンテナの放射パターンは、当該アーラー・アンテナの開口における振幅位相分布のフーリエ変換像（すなわち、フラウンホーファ回折像）となる。すなわち、フーリエ変換レンズ8に入射されるガウス分布ビームGB<sub>k</sub>の振幅位相分布は2回フーリエ変換されるので、公知の通り、フーリエ変換レンズ8に入射されるガウス分布ビームGB<sub>k</sub>の振幅位相分布は、アーラー・アンテナによって放射された遠方界の無線信号S<sub>k</sub>の振幅位相分布に一義的に対応することになる。

【0055】ここで、フーリエ変換レンズ8に入射されるガウス分布ビームGB<sub>k</sub>の振幅位相分布は、ガウス分布ビームGB<sub>k</sub>を放射するGRINレンズ2-kの光軸30からの距離r<sub>o</sub>に一義的に対応する。これによって、GRINレンズ2-kから放射されるガウス分布ビームGB<sub>k</sub>に対応してアーラー・アンテナから放射される無線信号S<sub>k</sub>の放射ビームは、GRINレンズ2-kの光軸30からの距離r<sub>o</sub>に対応する所定の放射方向（図1の右側に示す）で放射される。

【0056】すなわち、図1に示すように、放射レンズアレー20の中央に位置するGRINレンズ2-nから放射されるガウス分布ビームGB<sub>n</sub>に対応してアーラー・アンテナから放射される無線信号S<sub>n</sub>の放射ビームは、アーラー・アンテナの放射面に対して垂直方向の放射方向を有し、放射レンズアレー20において光軸30から最も離れて位置するGRINレンズ2-1及びGRINレンズ2-Nから放射されるガウス分布ビームGB<sub>1</sub>及びガウス分布ビームGB<sub>N</sub>に対応してアーラー・アンテナから放射される無線信号S<sub>1</sub>及びS<sub>N</sub>の各放射ビームは、アーラー・アンテナの放射面の垂直方向に対して最も大きな角度の放射方向を有する。また、放射レンズアレー20においてGRINレンズ2-1に隣接して位置するGRINレ

ンズ2-2から放射されるガウス分布ビームGB<sub>2</sub>に対応してアーラー・アンテナから放射される無線信号S<sub>2</sub>の放射ビームは、ガウス分布ビームGB<sub>1</sub>に対応して放射される無線信号S<sub>1</sub>の放射ビームの放射方向に隣接する放射方向を有する。

【0057】上述したように、アーラー・アンテナから放射される複数N個の無線信号S<sub>1</sub>乃至S<sub>N</sub>の放射ビームは、GRINレンズ2-1乃至2-Nの焦点面P20における位置に対応した各放射方向で空間に放射される。

【0058】また、光移相器56-1乃至56-Nにおける各制御移相量が0でない場合には、GRINレンズ2-kから放射されるガウス分布ビームGB<sub>k</sub>は、光移相器56-kによって、無線信号S<sub>k</sub>の放射方向に対応した所定の位相分布になるように移相されている。すなわち、ガウス分布ビームGB<sub>k</sub>の位相面は、アンテナ素子17-1乃至17-Mから放射される無線信号S<sub>k</sub>の放射方向が変化するように位相の傾斜（位相分布）をつけて移相されているので、フーリエ変換レンズ8に入射されるガウス分布ビームGB<sub>k</sub>の振幅位相分布は、ガウス分布ビームGB<sub>k</sub>を放射するGRINレンズ2-kの光軸30からの距離r<sub>o</sub>と当該位相分布とによって決まる。従って、光移相器56-1乃至56-Nの制御移相量が0でない場合には、複数N個の無線信号S<sub>1</sub>乃至S<sub>N</sub>の各放射ビームは、光移相器56-1乃至56-Nの制御移相量が0のときのGRINレンズ2-1乃至2-Nの焦点面P20における各位置に対応する各放射方向から、各制御移相量すなわち、上記ビーム光の位相分布に対応する角度だけ回転された各放射方向でアーラー・アンテナから空間に放射される。

【0059】以上詳述したように、第1の実施形態の光制御型フェーズドアーラー・アンテナは、従来例の光制御型フェーズドアーラー・アンテナにおける光放射器101と高周波発振器102とミラー105とイメージマスク106と分布調整器131とに代えて、位相同期型光放射器1と高周波発振器4-1乃至4-Nと変調器5-1乃至5-Nと光移相器56-1乃至56-Nと位相制御器55と放射レンズアレー20とを備えているので、放射レンズアレー20から放射されるガウス分布ビームGB<sub>1</sub>乃至GB<sub>N</sub>の放射位置に対応させて複数N個の無線信号S<sub>1</sub>乃至S<sub>N</sub>をそれぞれ所定の方向に放射することができる。

【0060】また、以上の第1の実施形態の光制御型フェーズドアーラー・アンテナは、ガウス分布ビーム光GB<sub>1</sub>乃至GB<sub>N</sub>及び基準のガウス分布ビーム光GB<sub>r</sub>とを同一面内で放射する放射レンズアレー20を備えているので、ビーム合成器と分布調整器とを用いることなく構成でき、従来例に比較して、アライメント調整が簡単でかつ損失を小さくできしかも小型にできる。

【0061】また、第1の実施形態の光制御型フェーズドアーラー・アンテナは、複数N個の光移相器56-1乃至

56-Nを備えているので、複数N個の無線信号S1乃至SNの放射方向をそれぞれ光移相器56-1乃至56-Nの制御移相量に対応させて変化させることができる。

【0062】<第2の実施形態>図7は、本発明に係る第2の実施形態である光制御型フェーズドアレーランテナの構成を示すブロック図である。第2の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナは、図1の第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナにおいて、変調器5-1乃至5-Nを取り除いて、光変調器51-1乃至51-Nを設け、上述の点を除いては図1の第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナと同様に構成される。

【0063】図7の第2の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナにおいて、光変調器51-1乃至51-Nはそれぞれ、位相同期型光放射器1から出力されるビーム光L01乃至LNの周波数を、それぞれ入力されるベースバンド信号B1乃至BNに従って例えば強度変調などの所定の変調方式で変調し、変調後のビーム光L1乃至LNをそれぞれ光移相器56-1乃至56-Nに出力する。ここで、ビーム光L01乃至LNはそれぞれ、参照ビーム光の周波数f0から高周波信号S01乃至SNの周波数だけ異なる周波数を有するビーム光である。

【0064】以上の様に構成された第2の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナは、上述した点を除いて第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナと同様に動作する。従って、第2の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナは、第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナと同様の効果を有する。

【0065】<第3の実施形態>図8は、本発明に係る第3の実施形態である光制御型フェーズドアレーランテナの構成を示すブロック図である。第3の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナは、図1の第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナにおいて、位相同期型光放射器1に代えて、レーザダイオード52と光分配器53、54と光変調器51-1乃至51-Nを備え、以下の様に構成される。

【0066】すなわち、レーザダイオード52は周波数f0のビーム光を発生して光分配器53に出力し、光分配器53は当該ビーム光を2つのビーム光に分配して一方のビーム光を参照ビーム光として光ファイバケーブル6を介してレンズ7に出力し、他方のビーム光を光分配器54に出力する。光分配器54は入力されるビーム光を複数N個のビーム光に分配して、分配した各ビーム光をそれぞれ光変調器51-1乃至51-Nに出力する。高周波発振器4-1乃至4-Nはそれぞれ予め決められた互いに異なる所定の周波数を有する高周波信号S01乃至SNを発生して、それぞれ変調器5-1乃至5-Nに出力し、変調器5-1乃至5-Nはそれぞれ、入力

される高周波信号S01乃至SNを入力されるベースバンド信号B1乃至BNに従って、例えばPSK、QAMなどの所定の変調方式で変調し、変調後の無線信号S1乃至SNをそれぞれ光変調器51-1乃至51-Nに出力する。

【0067】光変調器51-1乃至51-Nはそれぞれ、光分配器54から出力されるビーム光の周波数を、それぞれ入力される無線信号S1乃至SNの各周波数だけ偏移させ、偏移させた後のビーム光L1乃至LNをそれぞれ光移相器56-1乃至56-Nに出力する。上述の点を除いては図1の第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナと同様に構成される。

【0068】以上の様に構成された第3の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナは、上述した点を除いて第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナと同様に動作する。従って、第3の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナは、第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナと同様の効果を有する。

【0069】<第1の実施形態の変形例>図9は、第1の実施形態の変形例の光制御型フェーズドアレーランテナの構成を示すブロック図である。この変形例の光制御型フェーズドアレーランテナは、図1の第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナに比較して、光移相器56-1乃至56-Nと位相制御器55とを取り除き、放射レンズアレー20を光軸30に対して垂直な方向で1次元で移動する移動機構57と、当該移動機構57の動作を制御する制御装置58とを設けている。

【0070】第1の実施形態の変形例の光制御型フェーズドアレーランテナにおいて、放射パターンの放射方向の制御は以下のように実行される。すなわち、予め決められた所望の放射方向に基づいて、制御装置58は、当該放射レンズアレー20を光軸30に対して垂直な方向で1次元で移動するように移動機構57を制御する。当該変形例の光制御型フェーズドアレーランテナは、上述の点を除いて図1の第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーランテナと同様に動作する。

【0071】従って、図9の変形例においては、放射パターンの放射方向を移動機構57を用いて変更することができ、第1の実施形態と同様の効果を有する。

【0072】また、以上の図9の変形例の光制御型フェーズドアレーランテナでは、移動機構57によって、放射レンズアレー20の全体を動かすようにしたが、本発明はこれに限らず、放射レンズアレー20のGRINレンズ2-1乃至2-Nをそれぞれ、別々に動かすようにしてもよい。

【0073】<他の変形例>以上の第2と第3の実施形態においては、光移相器56-1乃至56-Nと位相制御器55とを用いて、放射パターンの放射方向を変更するように構成したが、本発明はこれに限らず、図9の変形例と同様、光移相器56-1乃至56-Nと位相制御

器55とし代えて、移動機構57と制御装置58とを用いて放射パターンの放射方向を変更するようにしてもよい。以上のように構成しても第2と第3の実施形態と同様に動作して同様の効果を有する。

【0074】また、以上の第1乃至第3の実施形態では、GRINレンズ2-1乃至2-Nが1次元方向に配列された放射レンズアレー20と、サンプリング光ファイバ12-1乃至12-Mが1次元方向に配列されたファイバアレー12と、アンテナ素子17-1乃至17-Nが1次元方向に配列されたアレー・アナテナを用いて構成した。しかしながら、本発明はこれに限らず、図10に示すように、複数のGRINレンズ220-1がマトリックス形状で2次元方向に配列された放射レンズアレー220と、複数のサンプリング光ファイバ212-1がマトリックス形状で2次元方向に配列されたファイバアレー212と、複数のアンテナ素子がマトリックス形状で2次元方向に配列されたアレー・アンテナ(図示せず。)とを用いて構成してもよい。以上の様に構成することにより、放射方向を3次元的に設定することができ、第1乃至第3の実施形態と同様の効果を有する。

【0075】さらに、第1の実施形態の変形例では、放射レンズアレー20を1次元方向で移動させる移動機構57と、移動機構57を制御する移動機構57とを用いて構成したが、本発明はこれに限らず、放射レンズアレー20を2次元で移動させる移動機構と、当該移動機構を制御する移動機構とを用いて構成してもよい。この場合、複数のGRINレンズ2-1乃至2-Nがマトリックス形状で2次元方向に配列された放射レンズアレーと、複数のサンプリング光ファイバがマトリックス形状で2次元方向に配列されたファイバアレーと、複数のアンテナ素子がマトリックス形状で2次元方向に配列されたアレー・アンテナとを用いて構成することにより、放射方向を3次元的に設定することができ、第1の実施形態の変形例と同様の効果を有する。

【0076】以上の第1乃至第3の実施形態において、ファイバアレー12はサンプリング光ファイバ12-1乃至12-Nを用いて構成しているが、本発明はこれに限らず、基板上に形成された複数の光導波路を用いて構成してもよい。以上のように構成することにより、第1乃至第3の実施形態と同様に動作して同様の効果を有するとともに、サンプリング光ファイバ12-1乃至12-Mを用いて配列した場合に比較して光導波路を狭い間隔で形成できるので、合成ビーム光11を狭い間隔で空間的にサンプリングでき、入力面P12に入力される合成ビーム光11を効率良くサンプリングできる。

【0077】以上の第1乃至第3の実施形態では、位同期型光放射器1は、それぞれ周波数( $f_o + f_m 1$ )乃至( $f_o + f_m N$ )を有する複数N個のビーム光L1乃至LNを出力するように構成したが、本発明はこれに限らず、それぞれ周波数( $f_o - f_m 1$ )乃至( $f_o - f_m N$ )を有する複数N個のビーム光L1乃至LNを出力するように構成してもよい。

$f_m N$ )を有する複数N個のビーム光を出力するように構成してもよい。

【0078】また、以上の第1乃至第3の実施形態において、アンテナ素子17-1乃至17-Mとしては、ダイポールアンテナ、誘電体基板上に形成された金属パッチアンテナ、ホーンアンテナなどを用いることができる。

【0079】以上の第1乃至第3の実施形態では、互いに異なる各周波数を有する複数N個の高周波信号S<sub>o1</sub>乃至S<sub>oN</sub>をそれぞれ発生する高周波発振器4-1乃至4-Nを備えて構成したが、本発明はこれに限らず、同一の周波数を有する複数N個の高周波信号を発生する高周波発振器を備えて構成してもよい。この場合、N個の高周波発振器を備えるようにしてもよいし、1つの高周波発振器と当該高周波発振器から出力される高周波信号をN個に分配する分配器とを備えるようにしてもよい。以上のように構成することにより、同一の周波数を有する複数N個の無線信号をそれぞれ、互いに異なる所定の複数の方向に放射することができる。

【0080】以上の第1乃至第3の実施形態では、入力される高周波信号S<sub>o1</sub>乃至S<sub>oN</sub>の周波数を、入力される互いに異なるベースバンド信号B1乃至BNに従って変調して出力する変調器5-1乃至5-Nを備えて構成したが、本発明はこれに限らず、同一のベースバンド信号に従って変調する複数N個の変調器を備えて構成してもよい。以上のように構成することにより、同一のベースバンド信号に従って変調された例えれば互いに異なる周波数を有する複数N個の無線信号をそれぞれ、互いに異なる所定の複数の方向に放射することができる。

【0081】以上の第1乃至第3の実施形態では、互いに異なる各周波数を有する複数N個の高周波信号S<sub>o1</sub>乃至S<sub>oN</sub>をそれぞれ発生する高周波発振器4-1乃至4-Nと、入力される高周波信号S<sub>o1</sub>乃至S<sub>oN</sub>の周波数を、入力される互いに異なるベースバンド信号B1乃至BNに従って変調して出力する変調器5-1乃至5-Nとを備えて構成したが、本発明はこれに限らず、同一の周波数を有する複数N個の高周波信号を発生する高周波発振器と同一のベースバンド信号に従って変調する複数N個の変調器とを備えて構成してもよい。以上のように構成することにより、同一のベースバンド信号に基づいて変調された同一の周波数を有する複数N個の無線信号をそれぞれ、互いに異なる所定の複数の方向に放射することができる。

【0082】以上の第1乃至第3の実施形態では、ビーム光L1乃至LNの位相面に対してアンテナ素子17-1乃至17-Mから放射される各無線信号S<sub>1</sub>乃至S<sub>N</sub>の放射方向が変化するように位相の傾斜(位相分布)をつけて光移相する光移相器56-1乃至56-Nを設けて構成したが、本発明はこれに限らず、光移相器56-1乃至56-Nを設けないで構成してもよい。

【0083】以上の第1乃至第3の実施形態では、光移相器 $56-1$ 乃至 $56-N$ を設けて構成したが、本発明はこれに限らず、光移相器 $56-1$ 乃至 $56-N$ を設けないで以下のように構成してもよい。すなわち、位相同期型光放射器1から出力される各ビーム光 $L_1$ 乃至 $L_N$ をそれぞれ、複数 $L$ 個のビーム光に分配する複数 $N$ 個の光分配器と、当該各光分配器によって分配されたビーム光をそれぞれ所定の移相量だけ移相する複数( $N \times L$ )個の光移相器とを備える。ここで、ビーム光 $L_k$ が分配された各ビーム光が入力される $L$ 個の光移相器はそれぞれ、アンテナ素子 $17-1$ 乃至 $17-M$ から放射される無線信号 $S_k$ の放射方向が変化するように入力されるビーム光を所定の移相量だけ移相させて出力する。各光移相器から出力されたビーム光はそれぞれ、光ファイバケーブルを介してGRINレンズに入力されて、GRINレンズからフーリエ変換レンズ8に放射される。ここで、第1の実施形態のGRINレンズ2-1に対して、この変形例では $L$ 個のGRINレンズを設け、同様に第1の実施形態の各GRINレンズ2-2乃至2-Nに対してそれぞれ $L$ 個のGRINレンズを設ける。この変形例の放射レンズアレー20では、( $N \times L$ )個のGRINレンズが一直線に配置され、上記( $N \times L$ )個の光移相器の出力ビーム光がそれぞれ対応した( $N \times L$ )個のGRINレンズに入力される。以上のように構成しても、第1乃至第3の実施形態と同様、複数 $N$ 個の無線信号 $S_1$ 乃至 $S_N$ を所定の方向に放射することができ、第1乃至第3の実施形態と同様の効果を有する。

#### 【0084】

【発明の効果】本発明に係る請求項1記載の光制御型フェーズドアレーアンテナは、所定の第1の周波数を有する第1のビーム光と、上記第1の周波数からそれぞれ入力される複数 $N$ 個の第1の無線信号の各周波数だけ異なる周波数を有する複数 $N$ 個の第2のビーム光とを出力する光放射手段と、上記光放射手段から出力された上記第1のビーム光と上記複数 $N$ 個の第2のビーム光とをそれぞれ所定のビーム幅に広げて放射する放射手段と、上記放射手段から放射される上記複数 $N$ 個の第2のビーム光と上記第1のビーム光とを所定のサンプリング面で重なるように集光する集光手段と、上記集光手段によって集光された集光ビーム光を、上記サンプリング面において空間的にサンプリングして、サンプリングした複数 $M$ 個の第3のビーム光を出力するサンプリング手段と、上記サンプリング手段から出力される複数 $M$ 個の第3のビーム光をそれぞれ光電変換して、光電変換した複数 $M$ 個の第2の無線信号を出力する光電変換手段と、上記光電変換手段から出力される複数 $M$ 個の第2の無線信号をそれぞれ空間に放射することにより、上記複数 $N$ 個の第1の無線信号をそれぞれ所定の方向に放射する複数 $M$ 個のアンテナ素子とを備えている。これによって、請求項1記載の光制御型フェーズドアレーアンテナは、複数の無線

信号をそれぞれ所定の方向に放射することができ、アライメント調整が簡単でかつ損失が小さくしかも小型にできる。

【0085】また、請求項2記載の光制御型フェーズドアレーアンテナは、請求項1記載の光制御型フェーズドアレーアンテナにおいてさらに、上記複数 $N$ 個の第1の無線信号の放射方向が変化するように、上記複数 $N$ 個の第2のビーム光を移相する複数の光移相手段を備えているので、当該移相量に対応して上記複数 $N$ 個の第1の無線信号の放射方向を変化させることができる。

【0086】さらに、請求項3記載の光制御型フェーズドアレーアンテナは、請求項1記載の光制御型フェーズドアレーアンテナにおいてさらに、上記放射手段を移動させる移動手段を備えているので、上記放射手段の移動量に応じて上記複数 $N$ 個の第1の無線信号の放射方向を変化させることができる。

【0087】またさらに、請求項4記載の光制御型フェーズドアレーアンテナは、請求項1、2又は3記載の光制御型フェーズドアレーアンテナにおいて、上記複数 $N$ 個の第1の無線信号は、入力される信号に従って所定の変調方式で変調されているので、変調された上記複数 $N$ 個の第1の無線信号をそれぞれ所定の方向に放射することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る第1の実施形態の光制御型フェーズドアレーアンテナの構成を示すブロック図である。

【図2】 図1の位相同期型光放射器1の構成を示すブロック図である。

【図3】 図1の放射レンズアレー20を拡大して示す斜視図である。

【図4】 ファイバアレー12の入力面P12の平面図である。

【図5】 図1の第1の実施形態における、放射レンズアレー20とフーリエ変換レンズ8とファイバアレー12とからなる光学系での処理を説明するための図である。

【図6】 ファイバアレー12の入力面P12におけるガウス分布ビーム光の位相傾斜を示すグラフである。

【図7】 本発明に係る第2の実施形態の光制御型フェーズドアレーアンテナの構成を示すブロック図である。

【図8】 本発明に係る第3の実施形態の光制御型フェーズドアレーアンテナの構成を示すブロック図である。

【図9】 本発明に係る第1の実施形態の変形例の光制御型フェーズドアレーアンテナの構成を示すブロック図である。

【図10】 本発明に係る変形例の光制御型フェーズドアレーアンテナにおける光学系を示す図である。

【図11】 図1の第1の実施形態において、フーリエ変換レンズ8の焦点面P20の異なる位置から放射されたガウス分布ビーム光によって励振された、入力面P1

2における光励振強度を示す図である。

【図12】 基準のガウス分布ビーム光GBrを光軸30から離れた位置から放射した場合における、各ガウス分布ビーム光GBmに対応してアーレーアンテナから放射される放射ビームの放射角度に対する相対振幅を示すグラフである。

【図13】 基準のガウス分布ビーム光GBrを光軸30から放射した場合における、各ガウス分布ビーム光GBmに対応してアーレーアンテナから放射される放射ビームの放射角度に対する相対振幅を示すグラフである。

【図14】 図1の第1の実施形態において、サンプリングファイバの間隔d<sub>1</sub>に対して、形成することができるビームの最大数N<sub>max</sub>を示すグラフである。

【図15】 図1の第1の実施形態において、サンプリング光ファイバ12-mの間隔d<sub>1</sub>に対して、サンプリング光ファイバ12-mの数Mを示すグラフである。

【図16】 従来例の光制御型フェーズドアーレーアンテナの構成を示すブロック図である。

#### 【符号の説明】

- 1…位相同期型光放射器、
- 2-1乃至2-N, 2-r…GRINレンズ、
- 3-1乃至3-N…光ファイバケーブル、

4-1乃至4-N…高周波発振器、

5-1乃至5-N…変調器、

8…フーリエ変換レンズ、

33-1乃至33-N…ビーム合成器、

12…ファイバアレー、

12-1乃至12-M…サンプリング光ファイバ、

14-1乃至14-M, 34-1乃至34-N…光電変換器、

15-1乃至15-M…電力増幅器、

17-1乃至17-M…アンテナ素子、

18-1乃至18-N, 19, 52…レーザダイオード、

20…放射レンズアレー、

21-1乃至21-N, 22, 23, 53, 54…光分配器、

30…光軸、

35-1乃至35-N…信号比較器、

51-1乃至51-N…光変調器、

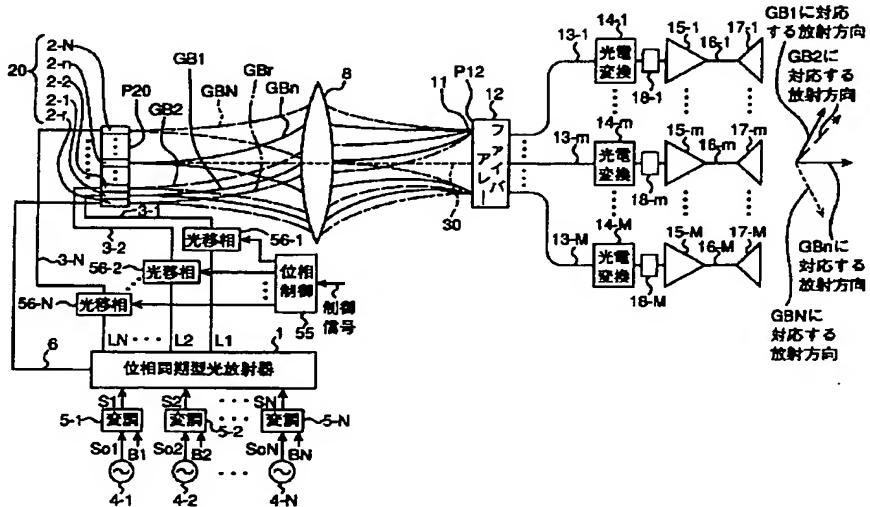
55…位相制御装置、

56-1乃至56-N…光移相器、

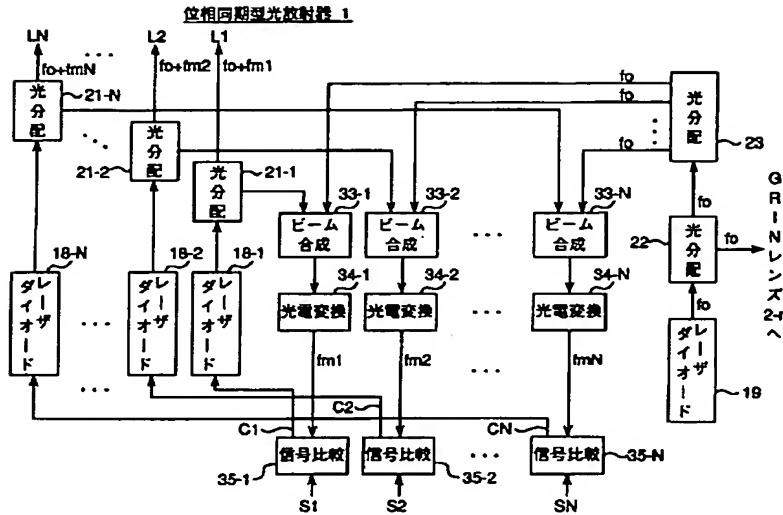
57…移動機構、

58…制御装置。

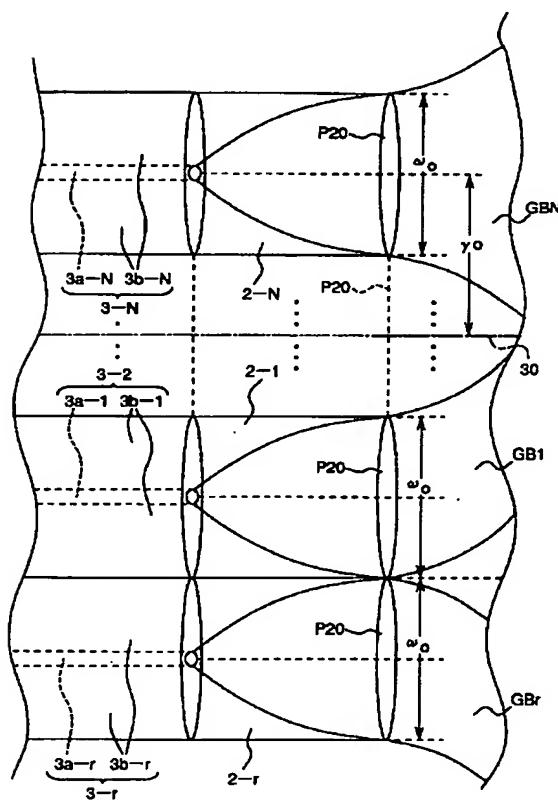
【図1】



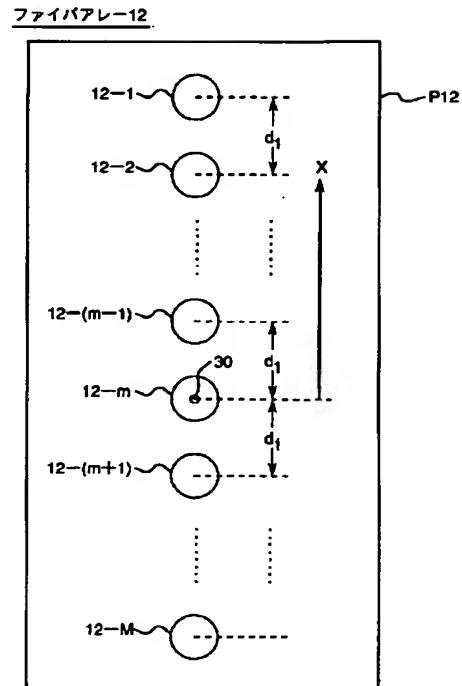
【図2】



【図3】

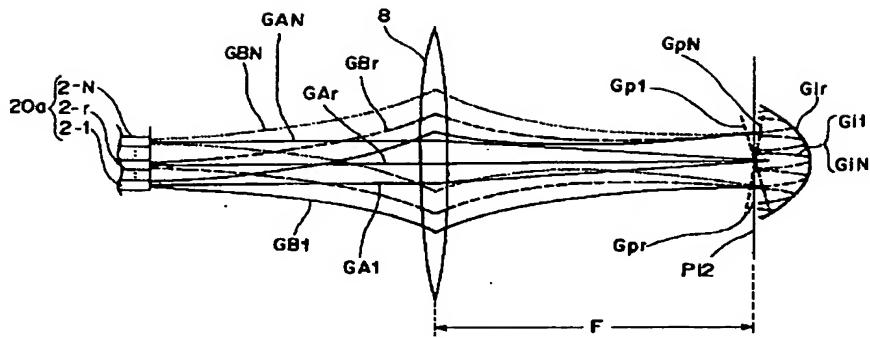


【図4】

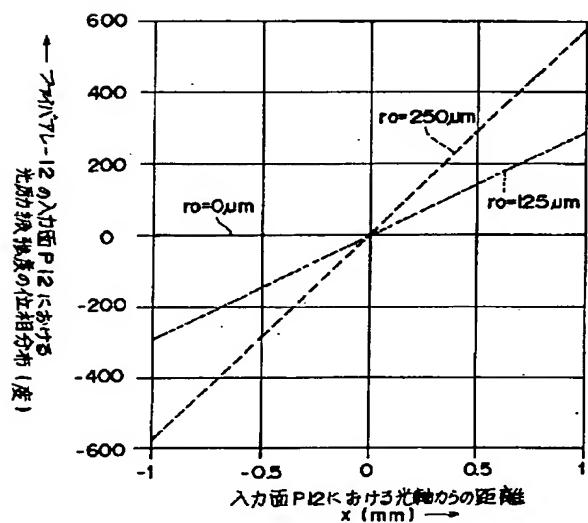


BEST AVAILABLE COPY

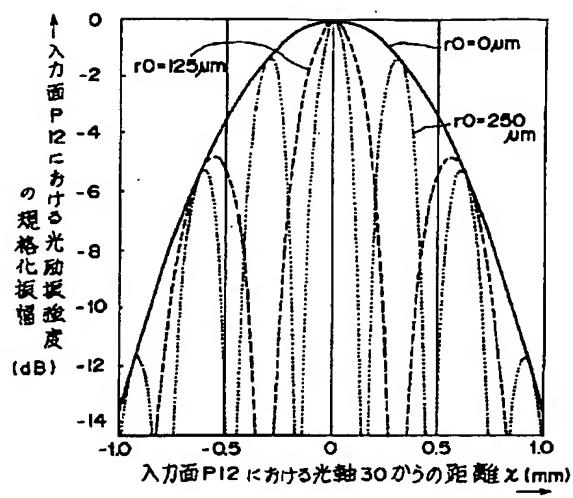
【図5】



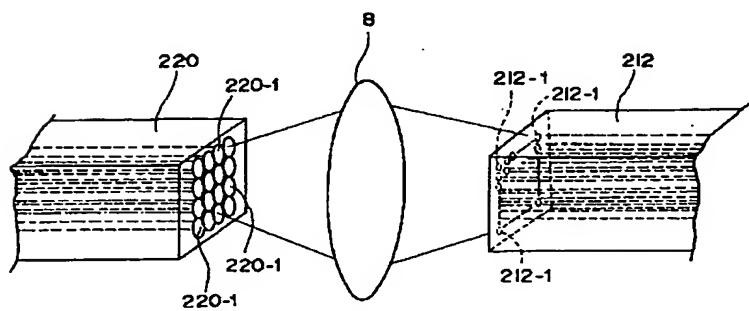
【図6】



【図11】

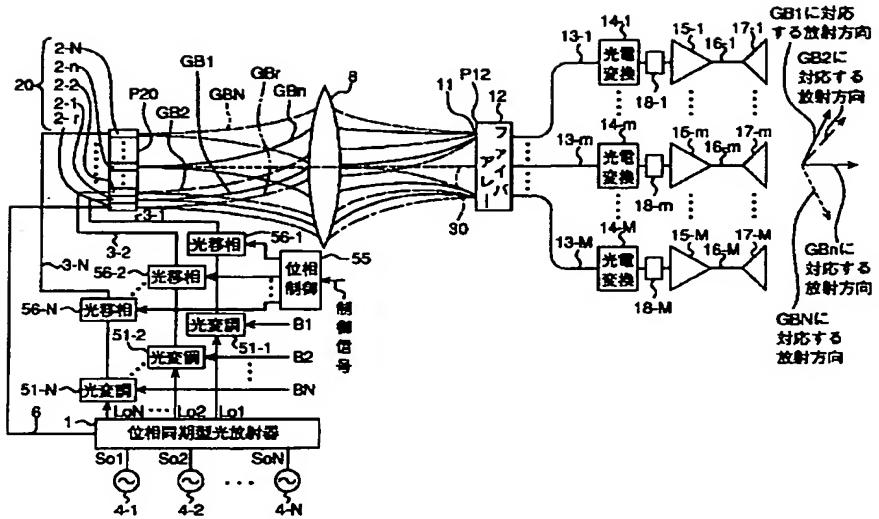


【図10】

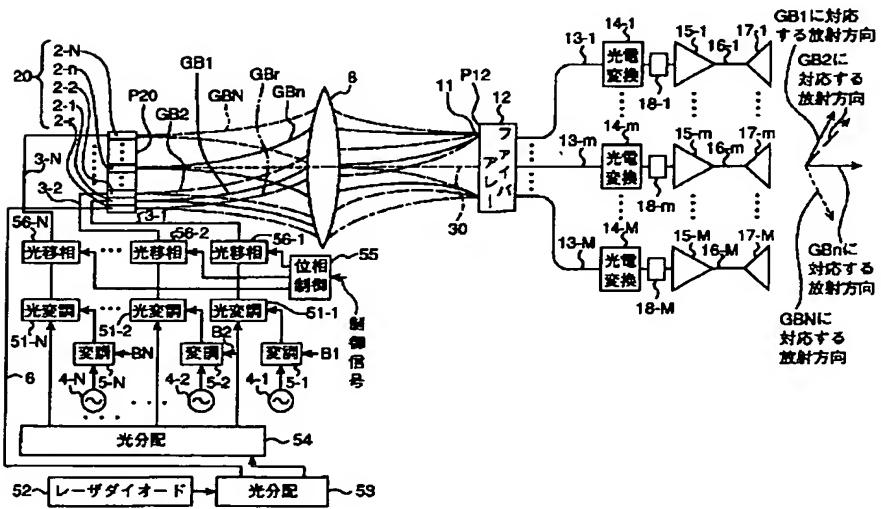


BEST AVAILABLE COPY

【図7】

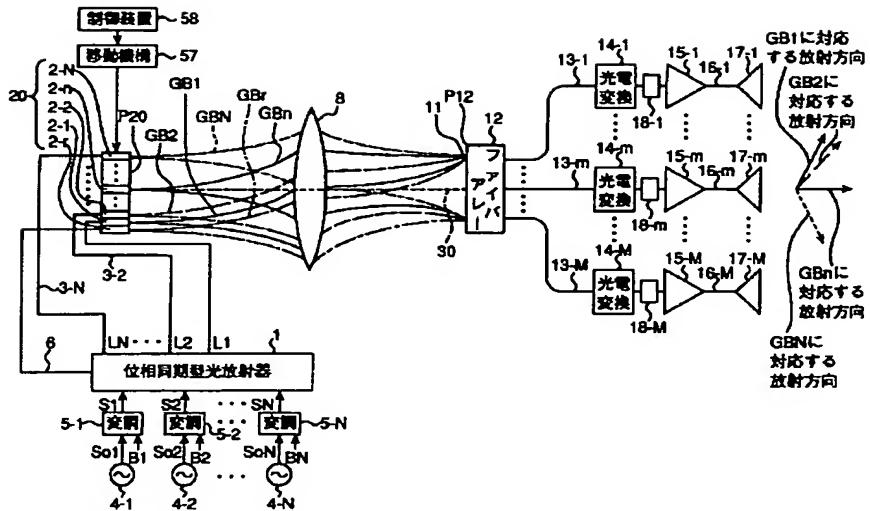


【図8】

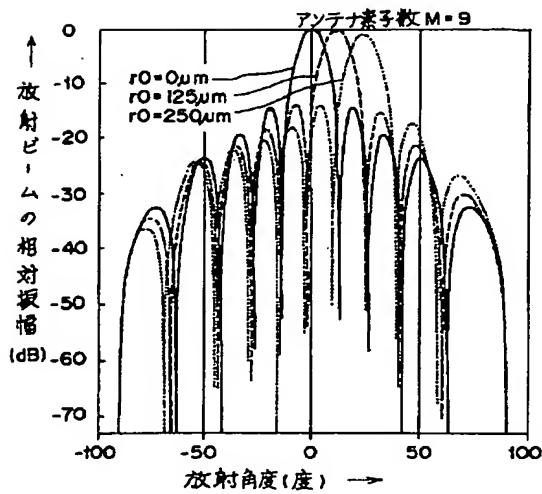


BEST AVAILABLE COPY

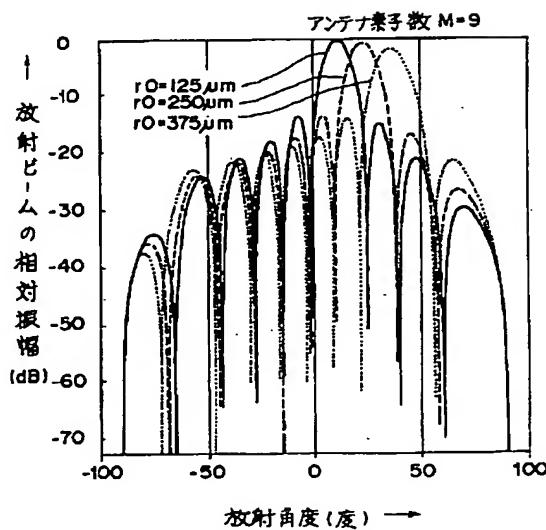
【図9】



【図12】

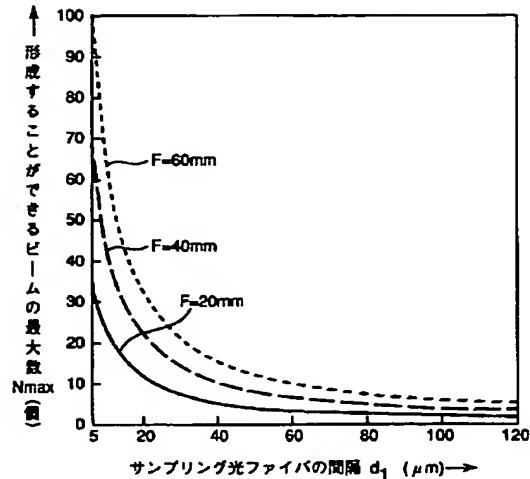


【図13】

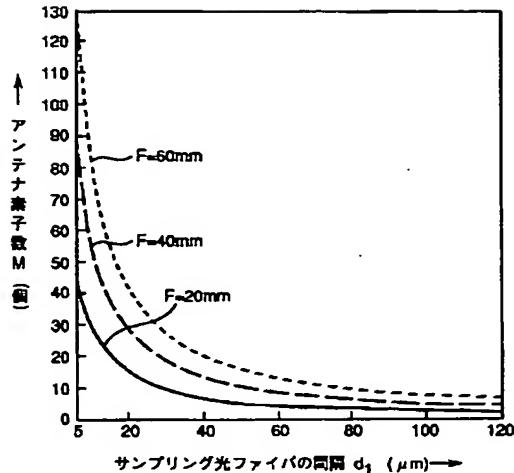


BEST AVAILABLE COPY

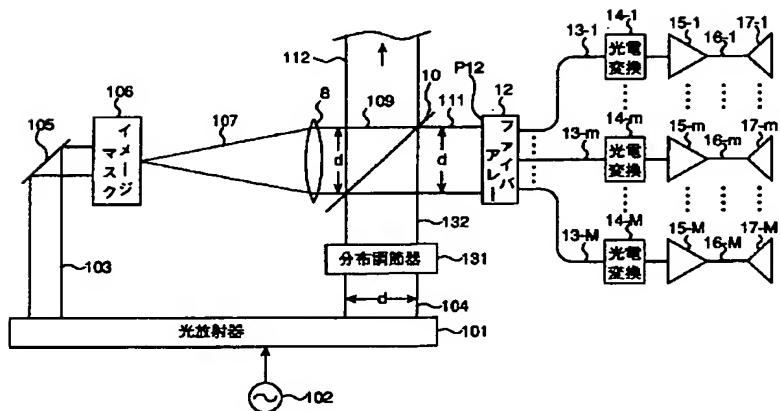
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 稲垣 恵三  
 京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5  
 番地 株式会社エイ・ティ・アール光電波  
 通信研究所内

(72)発明者 三浦 龍  
 京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5  
 番地 株式会社エイ・ティ・アール光電波  
 通信研究所内  
 (72)発明者 唐沢 好男  
 京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5  
 番地 株式会社エイ・ティ・アール光電波  
 通信研究所内

BEST AVAILABLE COPY